第 37 卷第 14 期
2017 年 7 月
生 态 学 报
ACTA ECOLOGICA SINICA
Vol.37,No.14
Jul.,2017

DOI: 10.5846/stxb201604090652
赵宇豪,高俊红,高婵婵,赵传燕,叶苗.黑河天涝池流域典型林分生态水文化学特征.生态学报,2017,37(14):4636-4645.
Zhao Y H, Gao J H,Gao C C,Zhao C Y,Ye M.Ecohydrology and chemical characteristics of typical forests in the Tianlaochi catchment of the Heihe River Basin.Acta Ecologica Sinica,2017,37(14):4636-4645.

黑河天涝池流域典型林分生态水文化学特征

赵宇豪[1,4],高俊红[2],高婵婵[1,4],赵传燕[3,4,*],叶 苗[1,4]
1 兰州大学生命科学学院,兰州 730000
2 兰州大学资源与环境学院,兰州 730000
3 兰州大学草地农业科技学院, 兰州 730000
4 兰州大学草地农业生态系统国家重点实验室, 兰州 730020

摘要:采集了黑河天涝池流域典型林分林外雨、穿透雨、树干径流和枯透水,并检测水体 pH 值和 12 种离子(K^+、Ca^{2+}、Na^+、Mg^{2+}、NH_4^+、Cu^{2+}、Zn^{2+}、Pb^{2+}、Cd^{2+}、Cl^-、SO_4^{2-}、NO_3^-)的质量浓度。结果表明:天涝池流域大气降水 pH 均值为 7.74,呈碱性,降水中离子绝对质量浓度较低,最高的是 NO_3^-,质量浓度为 1.1111 mg/L,最低的为 Na^+,质量浓度为 0.0108 mg/L;两种林分冠层有降低降雨 pH 值的作用,青海云杉林冠层对 NH_4^+ 有升高作用,祁连圆柏林冠层对 NH_4^+ 有降低作用,两种林冠层对 NO_3^- 和 Cu^{2+} 质量浓度有降低作用,对其它离子质量浓度均表现为升高作用;两种林分树干径流有提高穿透雨 pH 值的作用,与穿透雨相比,两种林分树干径流中阴离子均有升高,圆柏树干径流中所有阳离子质量浓度均有下降,云杉树干径流中 Ca^{2+}、K^+、Mg^{2+} 和 Na^+ 减少,NH_4^+ 和 Cu^{2+} 增加;典型林分枯透水有提升穿透雨 pH 值的作用,与穿透雨相比,两种林分枯透水中阴离子质量浓度均有升高,云杉枯透水各阳离子均有降低,圆柏枯透水中 Ca^{2+}、K^+ 和 Mg^{2+} 质量浓度升高,NH_4^+、Na^+ 和 Cu^{2+} 质量浓度下降;在采集的所有样本中,Pb^{2+} 和 Cd^{2+} 均未检出,而 Zn^{2+} 仅在云杉树干径流中检出。

关键词:青海云杉;祁连圆柏;穿透雨;树干径流;枯透水;生态水文

Ecohydrology and chemical characteristics of typical forests in the Tianlaochi catchment of the Heihe River Basin

ZHAO Yuhao[1,4], GAO Junhong[2], GAO Chanchan[1,4], ZHAO Chuanyan[3,4,*], YE Miao[1,4]
1 *School of Life Sciences, Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *China*
2 *College of Earth Environmental Sciences, Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *China*
3 *College of Pastoral Agriculture Science and Technology, Lanzhou University, Lanzhou* 730000, *China*
4 *State Key Laboratory of Grassland Agro-ecosystems, Lanzhou University, Lanzhou* 730020, *China*

Abstract: The Heihe River is the second largest inland river in China, and plays vital roles in sustainable societal and economic development in northwestern China. The water conservation forest, located on Qilian Mountain where the source of the Heihe River is located, provides a clean water resource. When analyzing ecohydrology, the chemical characteristics of forests are important for understanding mechanisms of water purification. Therefore, in this study, we focus on the chemical effects of forests on water quality. We selected the Tianlaochi catchment, which is located in the upper reaches of the Heihe River on Qilian Mountain, as our study area. After rainfall events, we collected samples of rainfall, through fall, stemflow, and litter seepage. Ion mass concentrations and pH values were measured for each of these components. The 12 ionic species whose mass concentrations were measured were K^+, Ca^{2+}, Na^+, Mg^{2+}, NH_4^+, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-, Cu^{2+}, Zn^{2+}, Pb^{2+}, and

基金项目:国家自然科学基金资助项目(91425301)
收稿日期:2016-04-09; **网络出版日期**:2017-03-02

*通讯作者 Corresponding author.E-mail: nanzhr@ lzb.ac.cn

Cd^{2+}. The results showed that the pH value of the rainfall was 7.74, and low absolute ionic mass concentrations in the precipitation were low, the most abundant ion being NO_3^- with a mass concentration of 1.1111 mg/L, and the least abundant being Na^+ with a mass concentration of 0.0108 mg/L. With respect to that of rainfall, the pH values of through-fall from Qinghai spruce (*Picea crassifolia*) and Qilian juniper (*Sabina przewalskii*) forests decreased to 7.34 and 7.50 respectively. The *P. crassifolia* forest canopy could increase the mass concentration of NH_4^+, while the *S. przewalskii* forest canopy showed the opposite effect. The canopies of both species could reduce NO_3^- and Cu^{2+} and increase concentrations of other ions. With respect to that of through-fall, the pH values of stemflow from *P. crassifolia* and *S. przewalskii* forests increased to 7.42 and 7.72 respectively, and anionic species increased in both types. All cationic species in the litter seepage from *S. przewalskii* forest decreased, but for *P. crassifolia* forest stemflow, the mass concentrations of Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+}, and Na^+ decreased, and Cu^{2+} and NH_4^+ increased. With respect to that of through-fall, the pH values of litter seepage in *P. crassifolia* and *S. przewalskii* forests increased to 7.54 and 7.59 respectively, and all anionic species in the litter seepage from both types of forest increased. In litter seepage from *P. crassifolia*, all cationic species decreased. In litter seepage from *S. przewalskii* forests, the mass concentrations of Ca^{2+}, K^+, and Mg^{2+} increased, and NH_4^+, Na^+, and Cu^{2+} decreased. In addition, Pb^{2+} and Cd^{2+} were not detected in all the water samples, and Zn^{2+} was only detected in the stemflow of the *P. crassifolia* forest.

Key Words: *Picea crassifolia*; *Sabina przewalskii*; through-fall; stemflow; litter seepage; ecohydrology

水资源主要是指与人类社会和生态环境保护息息相关而又能不断更新的地表水和地下水[1],随着近年来全球水质型缺水日益严重[2],人们对清洁水源的需求愈发迫切。森林生态系统具有调节、净化和稳定水质的作用[3],被认为是清洁水源的发祥地[4],发挥森林的水源涵养功能是解决水资源问题的重要途径之一[5]。目前,森林与水质的研究成为了森林生态水文学研究的重点和热点,分析森林水环境的化学变化对了解森林净化水源的作用机制具有重要意义[6-7]。

森林生态系统丰富的结构层次能够对大气降水进行重新分配和有效调节,发挥森林生态系统特有的生态水文功能。大气降水进入森林后,林冠层对降水有着再分配作用,一部分形成穿透雨,直接降落到林下植被和枯落层中,还有一部分沿树干流下,成为树干径流,随后进入到土壤层,这些水分变为地表径流、壤中流和地下水,水中的化学成分和 pH 值随着介质的变化会再度发生改变。林冠层对降水 pH 值的改变不尽相同,某些树种的林冠层可以使降水 pH 值下降[8-12],某些树种林冠层有提高降水 pH 值的作用[13-15]。而对贵州典型森林植被研究表明,林冠层对降雨 pH 值具有缓冲作用,可以使 pH 值稳定在一定区间内[16],同时林冠层对降水中离子的改变也因树种而异[17-19]。树干径流 pH 值和离子质量浓度也因树种而异[20-23],有研究表明同一树种在不同区域的树干径流中的元素含量也有显著差异[24]。枯枝落叶层是森林水文功能的第二作用层,其具有截留降水,增加入渗,增加地表粗糙度,拦截地表径流,抑制土壤蒸发,防止土壤溅蚀,增加土壤有机质,改变土壤质地,改善土壤结构,进而增强土壤抗蚀能力和蓄水减沙能力等多种功能[25],目前我国对枯枝落叶层的水分涵养机理研究主要是集中在枯落物对水分下渗、地表蒸发、径流含沙量等方面的影响和持水过程分析,对枯落物水质的研究仅见少数报道[26-29]。

黑河是我国西北地区第二大内陆河,流经青海省、甘肃省和内蒙古自治区的 11 个县市,其水质的好坏对流域内居民的生产生活有着十分重要的影响。祁连山区是黑河流域的发源地,其内的水源涵养林在净化水质方面发挥着巨大的生态作用[30],山区内主要树种为青海云杉(*Picea crassifola*)和祁连圆柏(*Sabina przewalskii*),因此研究这两种林木的生态水文化学特征不仅有具有重要的环境意义,还具有深远的社会意义。但是,目前对其的研究多集中在生态水文过程的物理过程和生态效应方面,对生态水文化学过程研究较少,仅有金博文等[31]和王顺利等[32]对祁连山区青海云杉穿透雨元素含量进行过研究,而对其树干径流和枯透水元素质量浓度变化鲜有报道,对祁连圆柏林的水质研究更是未见报道,因此,本文将测定青海云杉和祁连圆柏林穿透雨,树干径流,枯透水的 pH 值和离子质量浓度,为祁连山区水源涵养林水质净化机制研究提供数据,同

时为祁连山森林生态系统生态服务功能研究奠定基础。

1 研究区概况

研究区位于黑河上游天涝池流域(99°53′50″—99°57′10″E,38°23′57″—38°26′55″N),流域总面积 12.79 km^2,河流纵长 6.0 km,海拔 2660—4419 m。属典型的高寒半干旱、半湿润山地森林草原气候,无霜期 90—120 d,年均气温-0.6—2.0 ℃,年均相对湿度为 60%,年均蒸发量 1051.7 mm,年均日照时数 1892.6 h,年降水量 400—600 mm,降水季节分布不均,主要集中在 5—9 月份,占全年降水量的 80%—90%,流域内植被类型因海拔梯度上水热条件组合的不同而呈现明显的垂直梯度分布,2800 m 以下的阳坡有干草原分布,优势种为紫花针茅(*Stipa purpurea*)和冰草(*Agropyron cristatum*);2700—3100m 分布着亚高山草原,由马先蒿(*Pedicularis reaupinanta*)、珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)、小茴香(*Anethum graveolens*)、垂穗披碱草(*Elymus nutans*)和鹅绒委陵菜(*Potentilla anserina*)等组成,2250—3750 m 的阴坡与半阴坡分布有青海云杉(*Picea crassifolia*);祁连圆柏(*Sabina przewalskii*)分布在海拔 2655—3400 m 的阳坡、半阳坡;灌丛呈条带状分布在海拔为 3400—3750 m 的地区,主要有金露梅(*Dasiphora fruticosa*) 、鬼箭锦鸡儿(*Caragana jubata*)、吉拉柳(*Salix atrata*) 和高山绣线菊(*Spiraea alpina*) 等。各种植被类型中乔木林地面积占比最大,为 38.73%,灌丛次之,占比 32.41%,草地占比较小,为 7.49%。

2 材料与方法

2.1 样地概况

青海云杉和祁连圆柏样地大小均为 25 m×25 m,青海云杉林样地主要林下植被为山羽藓(*Abietinella abietina*),祁连圆柏样地主要林下植被为珠芽蓼(*Polygonum viviparum*)。各样地内,使用鱼眼相机(NIKON-D80,NIKON-FISHEYE 10.5 mm)获取冠层的半球图像,采用 Gap Light Analyzer (GLA V2.0)软件进行处理,处理时由于针叶的集聚效应,需乘以校正系数 1.47[33],从而得到叶面积指数(LAI)。利用罗盘、激光测高仪获取坡向、坡度和树高,再通过每木检尺的方法获取样地其他结构特征,详细信息见表 1。

表 1 样地基本信息

Table 1 Essential information of sample area

植被类型 Vegetation types	坡度/(°) Slope	坡向/(°) Aspect	高度/m Height	密度/(株/km^2) Density	郁闭度/% Canopy density	叶面积指数 Leaf area index
青海云杉 *Picea crassifolia*	10	354	13.9	1133	48.13	1.57
祁连圆柏 *Sabina przewalskii*	32	200	6.8	270	46.39	1.31

2.2 采集装置

2.2.1 林外雨和穿透雨采集

在林地外空旷处放置 3 个直径 20 cm 的塑料承雨桶,上覆 60 目滤网,用于林外雨采集,在树干径流采集装置一侧,放置相同规格上覆 60 目滤网的塑料承雨桶,用于穿透雨采集。

2.2.2 树干径流采集

按照各样地内的径级分布,各选取 5 株标准木进行树干径流测定,样树信息和径级分布如表 2 所示,将直径为 2 cm 的聚乙烯塑料管沿中缝剪开一段,距地面 1 m 左右开始,将塑料管蛇形缠绕标准木一周半,用 U 型针将塑料管固定在树干上,在塑料管下端接上集水器,用于树干径流采集。

2.2.3 枯透水采集

分别收集两种林分原状枯落物,去除地上植被成分,为防止土壤成分对枯透水测定的影响,用超纯水对其淋洗,在各自穿透雨采样桶一侧放置新的采样桶,将 60 目滤网固定在直径 19 cm,高 10 cm 的空心 PVC 管下,

将覆盖滤网后的 PVC 管放置于承雨桶内并固定,将原状枯落物放置于滤网之上,桶内水即为枯透水。

表 2　样地径级及标准木信息

Table 2　Diameter class and information of model tree

径级/cm Diameter class	青海云杉 *Picea crassifolia*			祁连圆柏 *Sabina przewalskii*		
	树高/m Height of tree	胸径/cm DBH	冠幅/m Crown diameter	树高/m Height of tree	胸径/cm DBH	冠幅/m Crown diameter
4—10	6.9	7.80	2.40	3.8	7.17	2.35
10—15	8.5	12.90	3.45	6.6	12.74	2.87
15—20	15.2	18.31	3.50	9	16.88	3.25
20—25	16.7	22.13	3.65	9.5	20.96	3.45
>25	18.4	31.05	4.45	10.3	33.76	5.2

2.3　水样野外采集

在 2015 年观测期间,共观测到 6 场雨量较大的次降雨事件(表 3),能够同时收集产生的林外雨,穿透雨,树干径流和枯透水,因此本文对 6 场降雨共计 42 个样品进行分析。次降雨事件后,分别将林外雨、穿透雨、树干径流和枯透水收集桶中的水样混合,取直径 10 cm 的漏斗 1 只,上覆 60 目滤网,采样时,将采样瓶和漏斗用超纯水洗涤 3 遍,再用水样润洗 3 遍,将采集的水样经漏斗装入采集瓶内,随即放入 4℃冰箱保存。

表 3　典型林林外雨及穿透雨量

Table 3　Rainfall and through fall of typical forests

日期 Date	青海云杉 *Picea crassifolia*		祁连圆柏 *Sabina przewalskii*	
	林外雨 Rainfall/mm	穿透雨 Through fall/mm	林外雨 Rainfall/mm	穿透雨 Through fall/mm
2015-07-08	40.50	32.97	44.38	37.67
2015-08-02	21.50	18.02	11.98	8.42
2015-08-03	16.00	6.57	21.07	17.68
2015-08-13	30.27	26.71	31.90	28.25
2015-08-27	9.98	6.51	9.42	6.62
2015-09-03	10.22	7.94	11.65	9.07

2.4　水样化学分析

2.4.1　pH 值测定

pH 值使用 OAKTON Bench 2700 Series 进行测定,测定方法为用超纯水将烧杯洗净,取水样将烧杯润洗 3 遍,将水样加入烧杯之中,将电极从保护液中取出,用超纯水洗涤后用滤纸吸干水分。使用待测水样润洗 3 遍后,将电极插入盛放水样的烧杯之中,待读数稳定后读取数值。

2.4.2　离子测定

K^+、Ca^{2+}、Na^+、Mg^{2+}、NH_4^+、NO_3^-、SO_4^{2-} 和 Cl^- 用 Thermo Scientific™ Dionex™ ICS-1100 离子色谱测定,先将进样管用去离子水冲洗干净,再在超纯水中浸泡 12 h。所有水样使用 0.22 μm 水系滤膜过滤,然后装入样品管中,放置于进样器中,系统将自动对水样进行测定,测定重复 3 次,取平均值。Cu^{2+}、Zn^{2+}、Pb^{2+} 和 Cd^{2+} 用 Thermo Scientific™ iCE™ 3300 原子吸收光谱仪测定。使用过滤后加入硝酸酸化的样品进行测定,测定重复 3 次,取平均值。

3　结果与分析

3.1　pH 值

研究区林外雨 pH 均值为 7.74,呈碱性(图 1),云杉和圆柏穿透雨 pH 值均小于林外雨,分别为 7.34 和 7.50,表明两种林分冠层有降低降雨 pH 值的作用,云杉林冠层对降雨的酸化程度要强于圆柏;云杉和圆柏树干径流 pH 值分别为 7.42 和 7.72,与穿透雨相比,pH 值均有所回升,表明两种林分的树干有提升穿透雨 pH 值

的作用,云杉树干对穿透雨提升的能力要强于圆柏;与穿透雨相比,透过云杉和圆柏枯落物形成的枯透水 pH 值上升,分别是 7.54 和 7.59,表明两种林分枯落物中含有碱性物质,且含量较树干径流要高。

3.2 阳离子

研究区典型林分各组分阳离子质量浓度由表 4 所示,林外雨中阳离子质量浓度由高到低为:$Ca^{2+}>K^{+}>Mg^{2+}>NH_4^{+}>Cu^{2+}>Na^{+}$,云杉穿透雨中阳离子质量浓度由高到低为:$Ca^{2+}>K^{+}>Mg^{2+}>Na^{+}>NH_4^{+}>Cu^{2+}$,与林外雨相比,$Na^{+}$增长最多,增幅高达 2587.96%,$Ca^{2+}$、$K^{+}$、$Mg^{2+}$和 NH_4^{+} 质量浓度均有增加,分别增加了 337%、618.62%、460.81%和 12.70%, Cu^{2+}质量浓度小幅下降,降幅为 12.02%;圆柏穿透雨中阳离子质量浓度由高到低为:$Na^{+}>Ca^{2+}>K^{+}>Mg^{2+}>NH_4^{+}>Cu^{2+}$,与林外雨相比,$Na^{+}$显著增加,增幅高达 10961.11%,$Ca^{2+}$ K^{+} Mg^{2+}质量浓度增加,分别上升了 79.92%、486.66%和 536.51%,NH_4^{+} 和 Cu^{2+}质量浓度下降,分别下降了 46.08%和 5.57%。云杉树干径流中阳离子质量浓度由高到低为:$Ca^{2+}>NH_4^{+}>Mg^{2+}>K^{+}>Cu^{2+}>Zn^{2+}>Na^{+}$,与穿透雨相比,$Ca^{2+}$、$K^{+}$、$Mg^{2+}$和 Na^{+}质量浓度减少,分别降低了 41.89%、96.39%、72.14% 和 100%,NH_4^{+} 和 Cu^{2+}质量浓度增加,分别升高了 205.7%和 11.33%;圆柏树干径流中阳离子质量浓度由高到低为:$Ca^{2+}>K>^{+}Mg^{2+}>Na^{+}>NH_4^{+}>Cu^{2+}$,与穿透雨相比,所有阳离子质量浓度均有降低,$Ca^{2+}$、$K^{+}$、$Mg^{2+}$、$NH_4^{+}$、$Na^{+}$和 Cu^{2+}分别降低了 44.61%、77.51%、74.21%、20.35%、93.66%和 24.84%;云杉和圆柏枯透水中阳离子质量浓度由高到低均为:$Ca^{2+}>K^{+}>Mg^{2+}>Na^{+}>Cu^{2+}>NH_4^{+}$,与圆柏树干径流类似,云杉枯透水中各阳离子与穿透雨相比质量浓度均有降低,Ca^{2+}、K^{+}、Mg^{2+}、NH_4^{+}、Na^{+}和 Cu^{2+}分别降低了 2.89%、21.33%、19.74%、72.18%、13.74%和 6%;与穿透雨相比,圆柏枯透水中 Ca^{2+}、K^{+}和 Mg^{2+}质量浓度升高,分别为 121.75%、75.9%和 8.35%,NH_4^{+}、Na^{+}和 Cu^{2+}质量浓度下降,分别降低了 79.07%、59%和 10.25%。各组分间阳离子含量变化如图 2 所示。

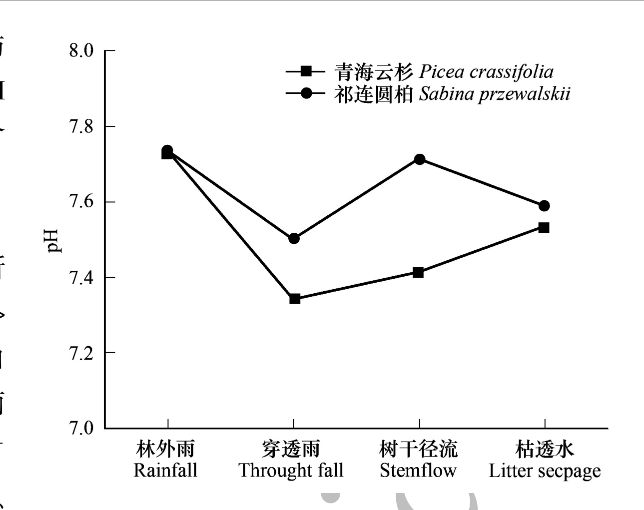


图 1 pH 值在典型林分不同组分间的变化

Fig.1 Variations of pH among different components of two forests

表 4 阳离子在典型林分不同层次间的质量浓度

Table 4 Content of kation among different spatial levels of typical forests

阳离子 Kation/(mg/L)	林外雨 Rainfall	青海云杉 *Picea crassifolia*			祁连圆柏 *Sabina przewalskii*		
		穿透雨 Through fall	树干径流 Stemflow	枯透水 Litter seepage	穿透雨 Through fall	树干径流 Stemflow	枯透水 Litter seepage
K^{+}	0.1402	1.0075	0.0364	0.7926	0.8225	0.1850	1.4468
Ca^{2+}	0.5011	2.1898	1.2726	2.1266	0.9016	0.4994	1.9993
Mg^{2+}	0.1008	0.5653	0.1575	0.4537	0.6416	0.1655	0.6952
NH_4^{+}	0.0638	0.0719	0.2198	0.0200	0.0344	0.0274	0.0072
Na^{+}	0.0108	0.2903	0.0000	0.2504	1.1946	0.0757	0.4898
Cu^{2+}	0.0341	0.0300	0.0334	0.0282	0.0322	0.0242	0.0289
Zn^{2+}	0	0	0.0099	0	0	0	0
Pb^{2+}	0	0	0	0	0	0	0
Cd^{2+}	0	0	0	0	0	0	0

3.3 阴离子

阴离子在典型林各组分中的质量浓度如表 5 所示,阴离子在林外雨中质量浓度由高到低为:$NO_3^{-}>SO_4^{2-}>Cl^{-}$,云杉穿透雨中阴离子质量浓度由高到低为:$SO_4^{2-}>Cl^{-}>NO_3^{-}$,与林外雨相比,$NO_3^{-}$ 质量浓度下降了 66.55%,

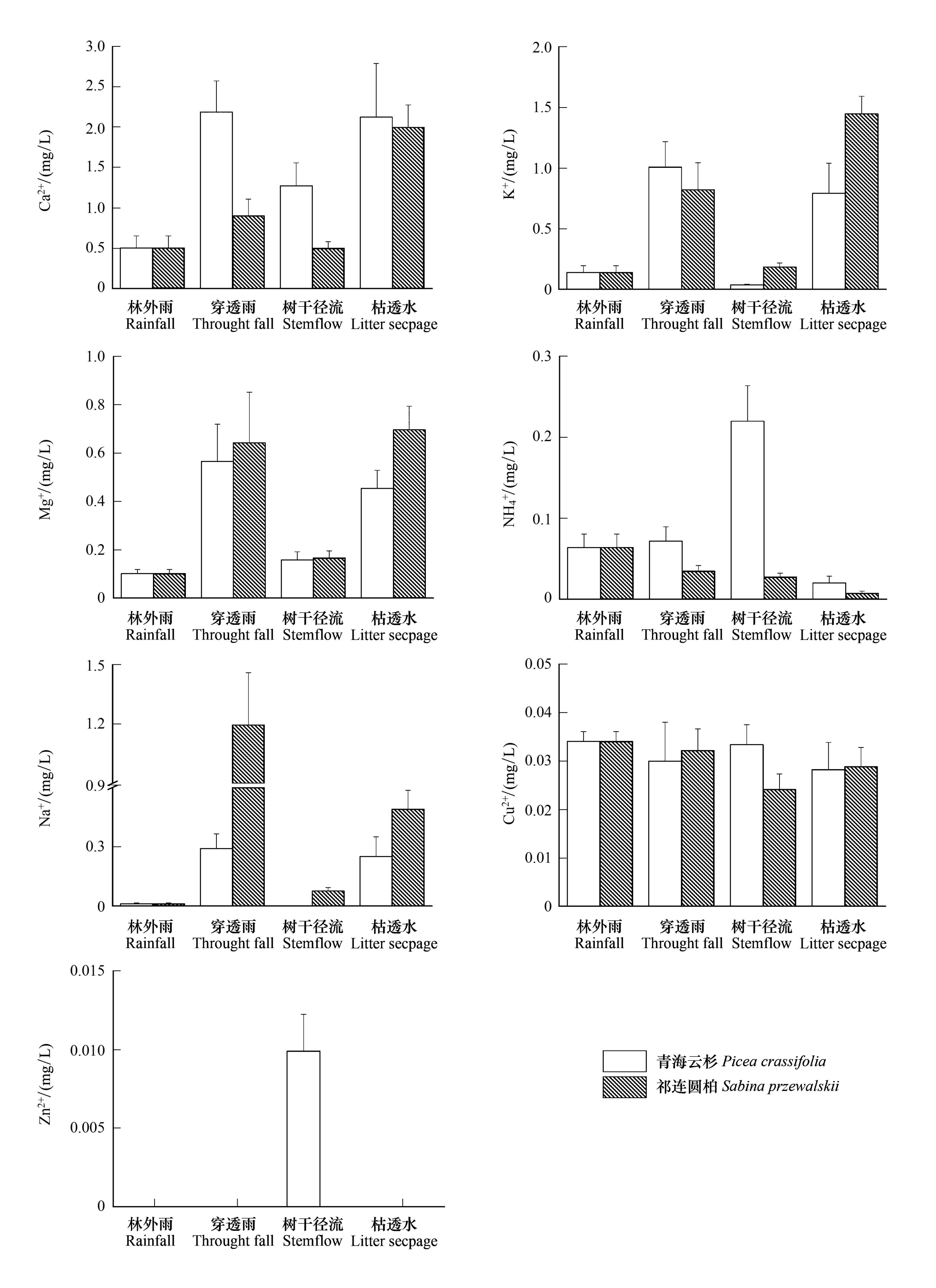


图 2　阳离子在典型林分间不同组分间的变化

Fig.2　Change of kation among different components in typical forests

SO_4^{2-} 和 Cl^-增加,增幅分别为 397.56%和 311.93%;圆柏穿透雨中阴离子质量浓度由高到低排序为:Cl^->SO_4^{2-}>NO_3^-,与林外雨相比,NO_3^- 下降了 70.29%,SO_4^{2-} 和 Cl^-升高,增幅分别为 108.76%和 599.87%。两种林分树干径

流和枯透水中阴离子由高到低排序均为: SO_4^{2-}>Cl^-> NO_3^-,且与穿透雨相比,阴离子质量浓度均有升高,云杉树干径流中 NO_3^-、SO_4^{2-} 和 Cl^- 升高了 185.74%、970.62%和 981.25%,其中 SO_4^{2-} 和 Cl^- 的增幅较大;圆柏树干径流 NO_3^-、SO_4^{2-} 和 Cl^- 升高了 53.17%、127.04%和 7.45%;云杉树枯透水中 NO_3^-、SO_4^{2-} 和 Cl^- 升高了 1.88%、30.39%和 128.78%,圆柏枯透水中 NO_3^-、SO_4^{2-} 和 Cl^- 升高了 24.72%、2543.88%和 2152.89%,SO_4^{2-} 和 Cl^- 的增幅较大。各组分间阴离子含量变化如图 3 所示。

表 5 阴离子在典型林分不同层次间的质量浓度

Table 5 Content of anion among different spatial levels of typical forests

阳离子 Kation/ (mg/L)	林外雨 Rainfall	青海云杉 *Picea crassifolia*			祁连圆柏 *Sabina przewalskii*		
		穿透雨 Through fall	树干径流 Stemflow	枯透水 Litter seepage	穿透雨 Through fall	树干径流 Stemflow	枯透水 Litter seepage
NO_3^-	1.1111	0.3717	1.0621	0.3787	0.3301	0.5056	0.4117
SO_4^{2-}	1.0551	5.2498	56.2053	6.8451	2.2026	5.0007	58.2340
Cl^-	0.4545	1.8722	20.2431	4.2832	3.1809	3.4178	71.6623

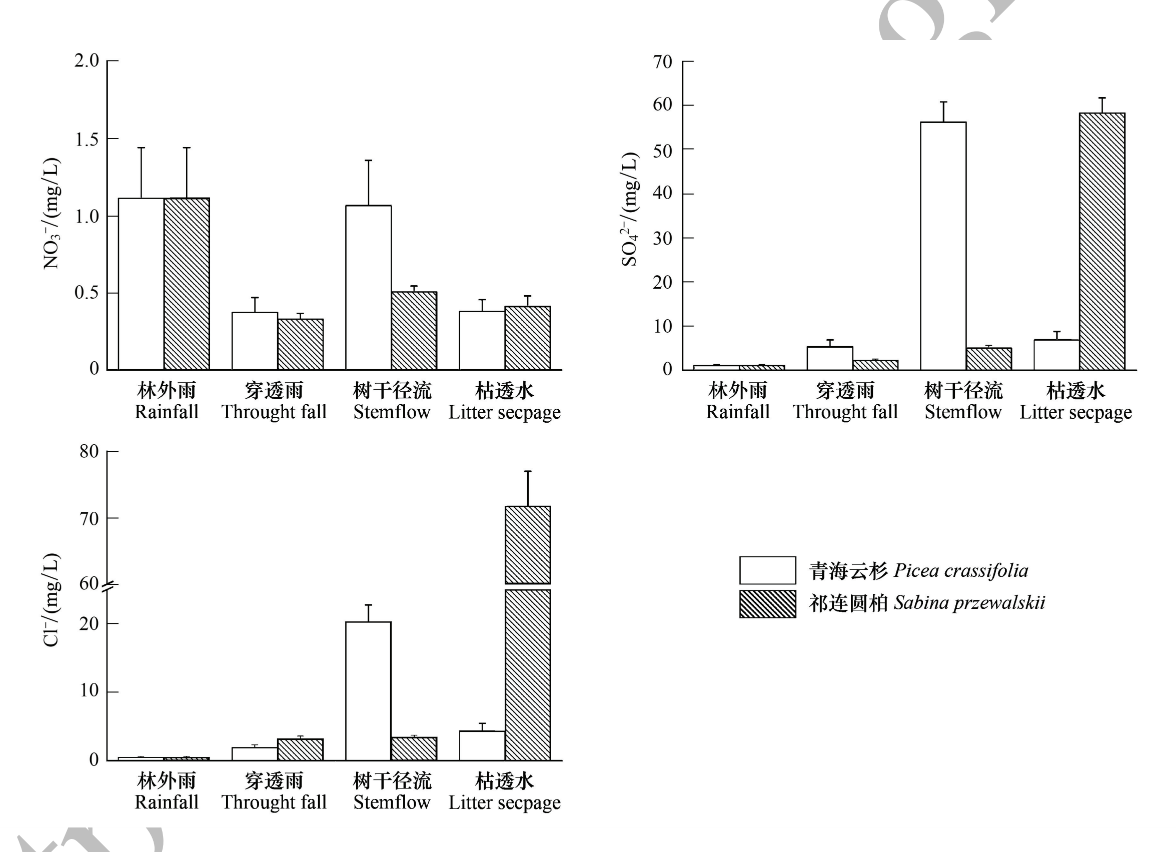


图 3 阴离子在典型林分间不同组分间的变化率

Fig.3 Change of anion among different components in typical forests

4 讨论

本流域内大气降水呈碱性,其可归因于两个方面,一方面,流域内水体和土壤呈碱性,形成的碱性凝结核使降水 pH 值升高,另一方面,研究区外来沙源主要为巴丹吉林沙漠、腾格里沙漠和塔克拉玛干沙漠, 这些地区土壤 pH 值较高[34-35], 输送而来的碱性沙尘溶于降水,使其偏碱;林冠对降水 pH 的改变因树种而异[8-16],有研究认为某些林冠之所以可以使降水 pH 值变小,可能是由于有机酸和无机酸溶解于降水之中[36],而部分林冠能够使 pH 值升高的原因可能是林木组织内盐基阳离子与降水中 H^+ 发生置换,盐基离子取代 H^+,从而使得林内雨的 pH 值上升[9],圆柏与云杉的穿透雨 pH 均小于林外雨,这与部分研究结果吻合[8-12],这可能是由

于两种林分冠层分泌的酸性物质溶于降水所致,其中和了部分降水和林冠干沉降中的碱性物质,虽然 pH 值较林外雨有所降低,但两种林分穿透雨仍为碱性;两种林分树干径流 pH 值较穿透雨升高,这可能是由于流域内干沉降多为碱性物质,云杉和圆柏表皮粗糙,裂隙多,容易承接干沉降,树干产生径流时,水分与树干上的碱性沉降物反应,使降水 pH 值升高。云杉和圆柏枯透水 pH 值与穿透雨相比升高,这与杜敏等[29]的研究结果一致,其成因与树干径流类似,枯落物分解时产生碱性物质[37]融入其中,导致其比穿透雨 pH 值升高。

不同地区的大气环境差异显著,降水中各养分浓度具有很强的空间异质性[38],本研究区林外雨阳离子中 Ca^{2+} 质量浓度最多,这与很多研究结果一致[3,8,18,23,27],但是,宋文龙等[16]在研究贵州森林群落时发现大气降水中 NH_4^+ 质量浓度最高,田大伦等[39]在研究第杉木幼林时,得出大气降水中 K 元素质量浓度最高,而巩合德等[40]发现 S 元素质量浓度最高。降水中的 Ca^{2+} 主要来源于空气中和陆地上的尘埃和有机物[41],因此质量浓度高低与大气飘尘和污染物有关。Na^+ 在林外雨中质量浓度最低,这与卢晓强等[42]的研究结果一致。有研究认为大气中 Mg^{2+} 大多来自于海洋[43],本研究区距海洋较远,故其质量浓度较低,K^+ 虽仅次于 Ca^{2+},但其绝对质量浓度较低,这与苏日娜[44]的研究一致。

与林外雨相比,除 Cu^{2+} 和圆柏穿透雨的 NH_4^+ 外,穿透雨中各阳离子质量浓度均有升高。相关研究表明,Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 较难从植物组织中淋溶出来[39,45],而 K^+ 和 Na^+ 易发生溶解迁移[8,41,44],所以 Ca^{2+}、Mg^{2+} 的增加主要是由于林冠的干沉降溶于降水所致,而 K^+ 和 Na^+ 的增加除了干沉降溶解外,还有淋溶作用。两种林分穿透雨中 Na^+ 质量浓度均有显著增加,因林外雨中 Na^+ 含量较低,故其绝对质量浓度并不太高,与云杉相比,圆柏穿透雨中 Na^+ 质量浓度增幅较高,这表明圆柏冠层会分泌较多的 Na^+,Na^+ 易发生溶解迁移,降雨通过冠层后其 Na^+ 质量浓度增加。NH_4^+ 是是植物生长所需的重要营养成分,研究表明无机态氮可被叶片吸收或通过离子交换而固定在植物体内[38,46],因此圆柏穿透雨中 NH_4^+ 降低,而云杉穿透雨中 NH_4^+ 小幅增加,这可能是因为某些树种的冠层对 NH_4^+ 有调节作用[14],当林外雨中 NH_4^+ 较少时,会使穿透雨中 NH_4^+ 增加,反之降低。Cu^{2+} 难以淋失但易被吸附固定[29],在两种林分穿透雨含量减少,云杉降低的幅度比圆柏稍大,说明云杉冠层对 Cu^{2+} 的吸附要略好于圆柏。

与穿透雨相比,除云杉树干径流的 Cu^{2+} 和 NH_4^+ 表现为升高外,两种林分树干径流中阳离子质量浓度均有所下降。Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^+ 和 Na^+ 下降可能是因为两种林分树干粗糙,对离子有较强的吸附作用[3]。云杉树干径流中 NH_4^+ 质量浓度升高,这可能是因为云杉主要分布在研究区阴坡和半阴坡,郁闭度大,林内湿度大,树干上多附生生物,其分解有机物后形成 NH_4^+,导致其质量浓度升高。圆柏树干径流中 NH_4^+ 下降可能是因为圆柏分布于阳坡,林内空气湿度小,树干上附生生物少,分解产生的 NH_4^+ 较少,树干的吸附量高于产生的 NH_4^+ 量,因此降低。Cu^{2+} 易被吸附固定[29],所以圆柏树干径流中 Cu^{2+} 降低,云杉树干径流中虽然 Cu^{2+} 含量升高,但幅度较小,可以认为是云杉树干对 Cu^{2+} 的吸附性不佳,同时有部分干沉降溶于树干径流中所致。Zn^{2+} 难以淋失和易被固定[21],在所有样本中,只有在云杉树干径流检测出 Zn^{2+},这可能是云杉树干活体组织会析出微量的 Zn^{2+} 所致。

与穿透雨相比,云杉枯透水各阳离子质量浓度均呈下降趋势,而圆柏枯透水中 K^+、Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 质量浓度升高,NH_4^+、Na^+ 和 Cu^{2+} 质量浓度降低。云杉枯透水中 Ca^{2+}、Mg^{2+}、K^+ 和 Na^+ 下降可能是由于枯落物对离子的吸附作用,两种林分中 NH_4^+ 的降低可能是因为枯落物中附生生物能把 NH_4^+ 吸收利用,并转换为有机态[42],而 Cu^{2+} 易被吸附固定,所以在云杉和圆柏中质量浓度均下降,圆柏枯透水中 K^+、Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 质量浓度升高,可能是因为圆柏枯落物在分解过程中释放出少量的 K^+、Ca^{2+} 和 Mg^{2+}。

林外雨中 NO_3^- 和 SO_4^{2-} 质量浓度基本相等,Cl^- 质量浓度稍低,因大气中离子含量异质性较高[38],故其含量由本研究区的地理状况决定。NO_3^- 在两种林分穿透雨中质量浓度降低,主要是无机氮可以被植物吸收利用,同时部分 NO_3^- 以挥发性酸 HNO_3 的形式存在于水中,当雨滴击溅林木叶面时, 加速了 HNO3 的挥发, 从而使 NO_3^- 质量浓度降低[2],SO_4^{2-} 和 Cl^- 在两种林分穿透雨中质量浓度升高,可能是干沉降溶于水中,也有可能是

大气降水可以洗脱叶内 SO_4^{2-} 和 Cl^- 所致。

与穿透雨相比,两种林分树干径流和枯透水中的阴离子质量浓度均有升高,NO_3^- 质量浓度升高可能是因为两种林分树干附生生物分解产生无机氮,因云杉树干附生生物较多,所以产生的 NO_3^- 较多,使其基本恢复到林外雨的水平,而圆柏树干附生生物较少,因此 NO_3^- 比穿透雨仅有小幅度上升,未达到林外雨水平。至于为何圆柏枯透水中的 Cl^- 和 SO_4^{2-} 大幅显著增加,而在其树干径流中只有小幅度提升,云杉枯透水中 Cl^- 和 SO_4^{2-} 质量浓度基本与穿透雨持平,而在其树干径流中会产生大量 Cl^- 和 SO_4^{2-},这一问题需要进一步做深入的研究。

5 结论

(1)天涝池流域大气降水 pH 均值为 7.74,呈碱性,降水中离子绝对质量浓度较低。

(2)青海云杉和祁连圆柏冠层有降低降雨 pH 值的作用,云杉林冠层对 NH_4^+ 有升高作用,圆柏林冠层对 NH_4^+ 有降低作用,两种林冠层对 NO_3^- 和 Cu^{2+} 有降低作用,对其它离子质量浓度均表现为升高作用。

(3)典型林分树干径流有提高穿透雨 pH 值的作用,与穿透雨相比,两种林分树干径流中阴离子均有升高,其中云杉树干径流中的 Cl^- 和 SO_4^{2-} 增高较多,圆柏树干径流中所有阳离子质量浓度均有下降,云杉树干径流中 Ca^{2+}、K^+、Mg^{2+} 和 Na^+ 减少,NH_4^+ 和 Cu^{2+} 增加。

(4)典型林分枯透水有提升穿透雨 pH 值的作用,与穿透雨相比,两种林分枯透水中阴离子质量浓度均有升高,其中圆柏枯透水中的 Cl^- 和 SO_4^{2-} 显著升高,云杉枯透水各阳离子均有降低,圆柏枯透水中 Ca^{2+}、K^+ 和 Mg^{2+} 质量浓度升高,NH_4^+、Na^+ 和 Cu^{2+} 质量浓度下降。

(5)在采集的所有样本中,Pb^{2+} 和 Cd^{2+} 均未检出,而 Zn^{2+} 仅在云杉树干径流中检出。

参考文献(References):

[1] 水利部水资源司. 我国水资源开发利用业绩与前景. 水文, 1999, (5): 11-16.

[2] 张胜利, 李光录. 秦岭火地塘森林生态系统不同层次的水质效应. 生态学报, 2007, 27(5): 1838-1844.

[3] 张伟, 杨新兵, 李军. 冀北山地华北落叶松林生态系统水化学特征. 水土保持学报, 2011, 25(4): 217-220.

[4] Núñez D, Nahuelhual L, Oyarzún C. Forests and water: The value of native temperate forests in supplying water for human consumption. Ecological Economics, 2006, 58(3): 606-616.

[5] 牛赟, 刘贤德, 张学龙, 王顺利, 雷军. 祁连山水源涵养功能的生态监测指标与评估指标. 中南林业科技大学学报, 2013, 33(11): 120-124.

[6] 欧阳学军, 周国逸, 黄忠良, 黄梦红. 鼎湖山森林地表水水质状况分析. 生态学报, 2002, 22(9): 1373-1379.

[7] Härdtle W, von Oheimb G, Gerke A K, Niemeyer M, Niemeyer T, Assmann T, Dress C, Matern A, Meyer H. Shifts in N and P budgets of heathland ecosystems: effects of management and atmospheric inputs. Ecosystems, 2009, 12: 298-310.

[8] 刘茜, 满秀玲, 田野宏. 白桦次生林降雨水化学及养分输入特征. 北京林业大学学报, 2015, 37(8): 83-89.

[9] 刘楠, 王玉杰, 王云琦, 赵占军, 赵洋毅. 亚热带缙云山典型林分不同层次水化学效应. 应用基础与工程科学学报, 2013, 21(2): 236-248.

[10] 杨钙仁, 雷世满, 黄承标, 张秀青, 彭军, 陈桂经. 桉树人工林冠层淋溶水质特征初步研究. 水土保持学报, 2009, 23(6): 203-206.

[11] 李文宇, 余新晓, 马钦彦, 石青, 刘萍. 密云水库水源涵养林对水质的影响. 中国水土保持科学, 2004, 2(2): 80-83.

[12] 周国逸, 小仓纪雄. 酸雨对重庆几种土壤中元素释放的影响. 生态学报, 1996, 16(3): 251-257.

[13] 张西林, 蒋益民, 张龚, 向仁军. 酸雨区亚热带针阔混交林的冠层淋溶特征. 林业科学, 2007, 43(7): 1-4

[14] 张胜利, 李靖. 天然林冠层的水质效应. 水土保持学报, 2006, 20(3): 56-60.

[15] 黄忠良, 孔国辉, 余清发, 张志红. 南亚热带季风常绿阔叶林水文功能及其养分动态的研究. 植物生态学报, 2000, 24(2): 157-161.

[16] 宋文龙, 杨胜天, 温志群, 蔡明勇, 白晓辉, 高芳. 贵州典型森林群落植被冠层的酸雨淋溶特征及缓冲作用. 环境科学学报, 2010, 30(1): 15-23.

[17] 辛颖, 赵雨森, 潘保原. 黑龙江东部山地兴安落叶松人工林对水质的影响. 中国水土保持科学, 2006, 4(2): 29-33.

[18] 刘世海, 余新晓, 于志民. 北京密云水库集水区板栗林水化学元素性质研究. 北京林业大学学报, 2001, 23(2): 12-15.

[19] 黄建辉, 李海涛, 韩兴国, 陈灵芝. 暖温带两种针叶林生态系统中茎流和穿透雨的养分特征研究. 植物生态学报, 2000, 24(2): 248-251.

[20] 叶激华, 吴初平, 张骏, 沈爱华, 朱锦茹, 袁位高, 江波. 沿海防护林主要树种的树干径流特性. 浙江林业科技, 2015, 35(2): 22-26.
[21] 姚余君, 张彦东, 任向荣. 云杉和落叶松树干径流对土壤 pH 值的影响. 东北林业大学学报, 2006, 34(6): 22-25.
[22] 刘建军. 锐齿栎、油松茎流养分输入和树干基部土壤特性初步研究. 西北林学院学报, 1999, 14(1): 59-63.
[23] 郎燕, 蔡体久, 柴汝杉, 杨甫. 不同类型原始红松林对降雨水化学特征的影响. 水土保持学报, 2012, 26(2): 184-191.
[24] 黄承标, 梁宏温. 广西亚热带主要林型的树干茎流. 植物资源与环境, 1994, 3(4): 10-17.
[25] 胡淑萍, 余新晓, 岳永杰. 北京百花山森林枯落物层和土壤层水文效应研究. 水土保持学报, 2008, 22(1): 146-150.
[26] 雷瑞德, 吕喻良. 锐齿栎林生态系统对水质的影响及评价. 西北林学院学报, 2003, 18(4): 1-4, 20-20.
[27] 李文影, 满秀玲, 张阳武. 不同林龄白桦次生林降雨水化学特征研究. 水土保持学报, 2009, 23(5): 123-127.
[28] 刘阳, 杨新兵, 陈波, 赵心苗, 田超, 张建华. 冀北山地山杨桦木林生态系统水化学特征研究. 生态环境学报, 2011, 20(11): 1665-1669.
[29] 杜敏, 文仕知, 杨丽丽, 王彦辉, 熊伟, 曹恭祥. 六盘山华北落叶松林降水转化中的阳离子通量变化特征. 林业科学研究, 2013, 26(2): 133-139.
[30] 王金叶, 常宗强, 金博文, 王艺林. 祁连山山地森林消洪补枯作用及功能分析. 西北林学院学报, 2001, 16(Z1): 46-50
[31] 金博文, 王金叶, 常宗强, 葛双兰. 祁连山青海云杉林冠层水文功能研究. 西北林学院学报, 2001, 16(Z1): 39-42.
[32] 王顺利, 王金叶, 张学龙. 祁连山水源涵养林区水质特征分析. 水土保持学报, 2004, 18(6): 193-195.
[33] Chen J M. Optically-based methods for measuring seasonal variation of leaf area index in boreal conifer stands. Agricultural and Forest Meteorology, 1996, 80(2/4): 135-163.
[34] 陈伟. 嘉峪关市降水偏碱性的成因初探. 中国环境监测, 2006, 22(2): 72-74.
[35] 张玉. 巴丹吉林沙漠南北边缘植被群落特征与土壤理化性质研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2014.
[36] 王冬米, 叶镜中. 栎林冠层对降水化学组成的影响. 浙江林学院学报, 1992, 9(2): 207-211.
[37] 闫文德, 田大伦. 会同第二代杉木林集水区水质生态效应. 中南林学院学报, 2003, 23(2): 6-10, 32-32.
[38] Parker G G. Throughfall and stemflow in the forest nutrient cycle. Advances in Ecological Research, 1983, 13: 57-133.
[39] 田大伦, 项文化, 杨晚华. 第 2 代杉木幼林生态系统水化学特征. 生态学报, 2002, 22(6): 859-865.
[40] 巩合德, 王开运, 杨万勤. 川西亚高山 3 种森林群落穿透雨和茎流养分特征研究. 林业科学, 2005, 41(5): 14-20.
[41] 刘菊秀, 张德强, 周国逸, 温达志, 张倩媚. 鼎湖山酸沉降背景下主要森林类型水化学特征初步研究. 应用生态学报, 2003, 14(8): 1223-1228.
[42] 卢晓强, 杨万霞, 丁访军, 户田浩人. 茂兰喀斯特地区森林降水分配的水化学特征. 生态学杂志, 2015, 34(8): 2115-2122.
[43] 周国逸, 闫俊华. 鼎湖山区域大气降水特征和物质元素输入对森林生态系统存在和发育的影响. 生态学报, 2001, 21(12): 2002-2012.
[44] 苏日娜. 内蒙古大兴安岭安落叶松林降水化学特征研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2009.
[45] Wardle D A. Controls of temporal variability of the soil microbial biomass: A global-scale synthesis. Soil Biology and Biochemistry, 1998, 30(13): 1627-1637.
[46] Filoso S, Williams M R, Melack J M. Composition and deposition of throughfall in a flooded forest archipelago (Negro River, Brazil). Biogeochemistry, 1999, 45(2): 169-195.